ÜBER DIE

CHEMISCHE REIZUNG

NERVENHALTIGER UND NERVENLOSER (CURARISIRTER) SKELETMUSKELN.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

IN DER

MEDICIN, CHIRURGIE UND GEBURTSHILFE

UNTER DEM PRÄSIDIUM

VON

DR. P. GRÜTZNER

O. Ö. PROFESSOR DER MEDICIN UND VORSTAND DES PHYSIOLOGISCHEN INSTITUTS AN DER UNIVERSITÄT TÜBINGEN

DER MEDICINISCHEN FAKULTÄT IN TÜBINGEN

VORGELEGT VON

GOTTHILF ZENNECK

APPROB. ARZT AUS SATTELDORF.

TÜBINGEN 1899.

Ueber die chemische Reizung nervenhaltiger und nervenloser (curarisirter) Skeletmuskeln.

(Mit 21 Textfiguren.

In den meisten Versuchen, welche man über die chemische Reizung von quergestreiften Muskeln anstellte, wurde gewöhnlich der mehr oder weniger frei präparirte Muskel ohne Weiteres mit dem betreffenden Reagens in Berührung gebracht. Man achtete aber verhältnissmässig wenig darauf, ob man, so zu sagen, reine oder mit Nerven versehene Muskelsubstanz vor sich hatte. Die meisten Versuche stellte man wohl an dem Sartorius des Frosches an, dessen Querschnitt entweder in die Flüssigkeit getaucht[1]), oder der ganz und gar — was zweckmässiger ist — in die betreffende Flüssigkeit versenkt wurde. Denn wie Hering[2]) nachgewiesen, kann bei dem Eintauchen des Querschnittes in leitende Flüssigkeiten eine elektrische Reizung des Muskels durch seinen Eigenstrom stattfinden und diese eine chemische vortäuschen. Vermeidet man aber diesen Fehler, so wird man doch eine grosse Menge Flüssigkeiten finden, die den Muskel in länger oder kürzer dauernde Erregungen versetzen.

Dieselben dürften der Hauptsache nach sich in zwei verschiedenen Formen äussern. Bei der einen Art (ich denke an den Sartorius des Frosches) wird derselbe durch lange Zeit hindurch in mehr oder weniger rhythmische, meistens partielle Zuckungen versetzt, welche den in der Flüssigkeit befindlichen Muskel bald hier, bald dort hin bewegen, so dass er gleich einem lebhaften Wurm sich bald nach der einen, bald nach der andern Seite wendet und krümmt, bald

1) Kühne, Archiv für Anat., Physiol. u. s. w. von Reichert und du Bois-Reymond 1859 S. 213.

2) Wiener Akad. Ber. Bd. 83 Abth. 3 S. 1. 1879.

mehr im Ganzen zusammenzuckt und durch die Mannigfaltigkeit der Bewegungen geradezu fesselt.

Derartige wohl zuerst von Hering (s. o.), dann von Ringer[1]) u. A. beschriebene Zuckungen erhält man z. B. ziemlich regelmässig, wenn man einen curarisirten oder nicht curarisirten Sartorius in physiologische Kochsalzlösung legt. Man sieht die Zuckungen schöner und andauernder, wenn man, den Angaben Biedermann's[2]) folgend, den curarisirten Sartorius in eine schwach alkalische, auf etwa 10° C. abgekühlte Kochsalzlösung versenkt oder in ihr senkrecht aufhängt.

Eine zweite Art der chemischen Erregung nimmt sehr bald eine ganz andere Gestalt an. Nach kürzer oder länger dauernden derartigen Zuckungen, die unter Umständen aber auch ganz und gar fehlen können, zieht sich der Muskel gewaltig zusammen, so dass er nur die Hälfte, ja vielfach nur ein Fünftel seiner ursprünglichen Länge annimmt und dafür natürlich entsprechend dicker wird.

Diese Art der Zusammenziehung wird im Allgemeinen beobachtet, wenn man den Muskel in verhältnissmässig starke, etwa halbnormale oder stärkere Salzlösungen einlegt. Kochsalz, Brom-, Jodnatrium oder andere Salze[3]) sind hierfür geeignet. Auch andere stark wirkende Flüssigkeiten, wie Lösungen von Alkalien, namentlich Ammoniak, Chloroform, Aether und dergleichen erzeugen derartige gewaltige Zusammenziehungen, an die sich dann oft unmittelbar der Tod des Muskels anschliesst. Sie sind beispielsweise von Kühne[4]), Bernstein[5]) und seinen Schülern Morgen[5]) und Klingenbiel[6]) beschrieben worden.

Da nun von den genannten Forschern nur nebenher Beobachtungen vorliegen, wie nervenhaltige und nervenlose, z. B. curarisirte Muskeln sich gegenüber diesen chemischen Reizen verhalten, so machte ich auf Anregung und unter Anleitung von Herrn Professor Grützner in den verflossenen Wintersemestern dahingehende Untersuchungen in dem physiologischen Institut in Tübingen, deren Ergebnisse ich

---

1) Journal of physiology vol. 7 p. 291. 1886.

2) Wiener Akad. Ber. Bd. 83 Abth. 3 S. 257, 1880. Biedermann empfiehlt folgende Lösung: 1 Liter destillirtes Wasser, 5 g NaCl, 2 g Na_2HPO_4 und 0,4—0,5 g Na_2CO_3·S. auch Elektrophysiologie Abth. 1 S. 89. 1895.

3) Vgl. Blumenthal, Pflüger's Archiv Bd. 62 S. 513. 1896.

4) a. a. O. S. 224 u. f.

5) Untersuchungen aus dem physiol. Institut in Halle H. 2 S. 139 u. 175. 1890.

6) Untersuchungen über Muskelstarre u. s. w. Dissertation. Halle a. S. 1887.

hiermit in Folgendem mittheile. Ich benutze gleich hier die Gelegenheit, um meinem verehrten Lehrer für seine vielfachen Unterweisungen und Bemühungen, die er mir während der Ausführung und Abfassung meiner Arbeit zu Theil werden liess, meinen aufrichtigen Dank auszusprechen.

Als nervenlose, gewissermaassen ihrer motorischen Nerven beraubte Muskeln sehe ich die curarisirten Muskeln an. Es dürfte nicht meine Aufgabe sein, die überaus umfangreiche Literatur, welche über das Curare vorliegt, hier im Einzelnen zu besprechen oder gar zu kritisiren. Indem ich bemerke, dass die Wirkung dieses Giftes in ungemein klarer und übersichtlicher Weise in Hermann's Toxikologie, Berlin 1874, S. 299 beschrieben ist und sowohl dort wie in einer Arbeit von Nikolski und Dogiel[1]) wohl die gesammte, bis zu dieser Zeit vorhandene Literatur niedergelegt ist, möchte ich nur betonen, dass die unzweifelhafte Wirkung des Giftes darin besteht, den Uebergang der Erregung vom Nerv zum Muskel unmöglich zu machen, ohne den Muskel selbst irgendwie in seinen Leistungen zu erhöhen. Eher geschieht nach manchen Angaben das Gegentheil.

Ehe ich nun aber zu der Mittheilung meiner Versuche übergehe, wird es sich empfehlen, die schon bekannten Unterschiede, welche in der Erregbarkeit curarisirter und nicht curarisirter Muskeln bestehen, hier in Kurzem zu besprechen.

Was zunächst die elektrische Erregbarkeit anlangt, so ist die Zahl der nach dieser Richtung hin angestellten Versuche eine überaus grosse. Die ersten Angaben hierüber finden wir bereits in den Untersuchungen über das Pfeilgift von Kölliker[2]), Haber[3]), Kühne[4]) und Anderen. Sie lauten in der Regel dahin, dass die in Folge unmittelbarer elektrischer Reizung der Muskeln erzeugten Zusammenziehungen localer Natur, d. h. auf diejenigen Faserbündel beschränkt sind, welche unmittelbar von dem Reize getroffen werden. Vielfach sollen sie auch, wie Kölliker angibt, tetanischer Art sein.

Brücke[5]) machte dann weiter die interessante Mittheilung, dass curarisirte Muskeln, im Vergleich mit normalen, unterempfind-

---

1) Pflüger's Archiv Bd. 47 S. 68. 1890.
2) Virchow's Archiv Bd. 10 S. 1 (62). 1856.
3) Archiv für Anat. u. Physiol. u. s. w. Jahrg. 1859 S. 98 (115).
4) Ebenda S. 213 (244).
5) Wiener Akad. Ber. Bd. 56 Abth. 2 S. 594. 1867.

lich sind für die Ströme der üblichen Inductionsapparate, und für sehr kurz dauernde constante Ströme, dagegen gleich oder sogar überempfindlich sich erweisen gegenüber den Schliessungs- und Oeffnungsreizen gewöhnlicher, längere Zeit verlaufender, constanter Ströme, welch letztere Thatsache sogar schon Bernard[1]) angibt, der auch fand, dass die curarisirten Muskeln viel länger elektrisch erregbar bleiben, als die nicht curarisirten desselben Thieres.

Auf das Genaueste prüfte schliesslich Kühne[2]) und seine Schüler die elektrische Erregbarkeit normaler und curarisirter Muskeln, insonderheit die des Sartorius vom Frosch. In den älteren Arbeiten findet sich die Angabe, dass (entsprechend den Versuchen von Rosenthal[3]), nach denen der Muskelnerv viel besser erregbar ist, als der Muskel selbst) in der Nähe der Eintrittsstelle des Nerven die höchste, an den nervenfreien Enden dagegen die niedrigste Erregbarkeit für elektrische Ströme (Inductions- und constante Ströme) herrsche. Merkwürdiger Weise gilt nun nahezu dasselbe Verhalten auch für curarisirte Muskeln. Zwar zeigen diese überhaupt geringere Erregbarkeit als die normalen, aber die Erregbarkeit ist auch hier am grössten in der dem Nerveneintritt entsprechenden Stelle; sie ist etwas geringer in einiger Entfernung davon und nimmt plötzlich sehr stark ab in den nervenlosen Endabschnitten. Die Unterschiede sind aber hier nicht so gross, wie bei dem normalen Muskel. Im Uebrigen ist die elektrische Erregbarkeit gleich gross für die nervenfreien Endstücke, mögen diese curarisirten oder nicht curarisirten Muskeln entstammen.

Spätere Angaben von Kühne, beziehungsweise von seinem Schüler Pollitzer[4]) lauten allerdings etwas anders. Nach diesen soll die höchste Erregbarkeit des Sartorius für gewöhnliche Inductionsströme auf beiden Seiten von der Nerveneintrittsstelle, nicht in ihrer nächsten Nähe herrschen. Diese zeige vielmehr eine geringe Erregbarkeit, und die allerniedrigste haben — wie auch früher angegeben — die nervenfreien Endstücke.

---

1) Leçons sur les effets des substances toxiques p. 316. Paris 1857.

2) Archiv für Anat. u. Physiol. u. s. w. Jahrg. 1859 S. 564 (581), Jahrg. 1860 S. 477 (482).

3) Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen Bd. 3 S. 185. 1857.

4) Journal of physiology vol. 7 p. 274, 1885 und Lauder Brunton, Handbuch der Pharmakol. und Therapie S. 165. Leipzig 1899.

Indem ich es dahin gestellt sein lasse, worauf die Verschiedenheit dieser Angaben beruht — theils dürfte sie mit der Verschiedenheit der Methodik, theils mit der verschiedenen Vertheilung der Nerven in den Muskeln zusammenhängen —, möchte ich bemerken, dass — wie mir Herr Professor Grützner mittheilt — er vermittelst der polaren Reizmethode für constante Ströme, sowie für Inductionsströme die älteren Angaben von Kühne an normalen und curarisirten Sartorien bestätigen konnte.

Der Muskel wird also hiernach durch das Curare nicht verändert. Zeigt er Verschiedenheiten seiner Erregbarkeit gegenüber dem nicht curarisirten, so beruhen dieselben, wie es scheint, auf der mehr oder weniger vollständigen Ausschaltung seiner Nerven. Werden dieselben nach dem Vorgange von Eckhard ganz ausgeschaltet durch den Anelektrotonus — indem man einen ausreichend starken aufsteigenden Strom durch den Nerven des Muskels schickt —, so ist, wie Kühne angibt, die Erregbarkeit überall die gleiche, nämlich gleich der an den nervenlosen Enden[1]).

Ein ziemlich bedeutender, eigenartiger Unterschied zeigt sich nach Kühne in dem Verhalten curarisirter und nicht curarisirter Muskeln, wenn diese mechanisch gereizt werden. Seine eigenen Worte[2]) lauten: „Schon beim Lostrennen des Musc. sartorius von seinem Ursprunge am Darmbein sah ich sogleich den sehr auffallenden Unterschied eines vergifteten und eines normalen Muskels. Letztere zucken bei Anlegung des ersten Querschnittes in der Regel ein Mal; die vergifteten Muskeln dagegen beginnen sogleich eine Reihe von Zuckungen, welche häufig so lange anhalten, dass es unmöglich wird, fernere Versuche damit anzustellen.“ An einer andern Stelle[2]) sagt er: „Es lässt sich mit der mechanischen Reizung, durch Scheerenschnitte nämlich, zeigen, dass immer nur die Fasern, welche durchschnitten werden, zucken.“ Und weiter liefert „der Versuch mit einem gespaltenen Sartorius des Frosches nach der Vergiftung durch Curare immer nur Zuckung der einen, dem direct gereizten Muskelzipfel entsprechenden Seite“.

---

1) Neuerdings hat allerdings Overend (Archiv f. exper. Pathol. u. s. w. Bd. 26, S. 1) gefunden, dass bei elektrischer Reizung die Zuckung curarisirter Muskeln niedriger ist und viel länger dauert, als diejenige nicht curarisirter. Auch sind nach ihm die curarisirten Muskeln dehnbarer und haben eine geringere Kraft.

2) Archiv für Anat. u. Physiol. u. s. w. Jahrg. 1859 S. 244 u. 1860 S. 482.

Wir haben also in Folge mechanischer Reizung einmal eine erhöhte Erregbarkeit des curarisirten Muskels, die sich in wiederholten Zuckungen nach einer nur einmaligen Reizung zeigt, sowie andererseits die Localisirung des Reizes auf die mechanisch getroffenen Fasern.

Schliesslich wende ich mich zu den Angaben, welche sich auf die verschiedene Erregbarkeit curarisirter und nicht curarisirter Muskeln in Folge chemischer Reize beziehen, und will da zunächst einige Versuche von Kühne mittheilen. Wenn man einen Sartorius eines curarisirten Frosches an seinem Beckenende abtrennt, so geräth er, wie oben erwähnt, nicht selten in vielfache Zuckungen. „Hat man dann glücklich einen solchen Muskel aufgehängt und ihn vollständig zur Ruhe gebracht, so ruft die erste chemische Reizung seines Querschnittes einen wahren Sturm von Zuckungen hervor, welche sich durch Anlegung eines neuen, oberhalb der benetzten Stelle gelegenen Querschnittes allerdings etwas beruhigen lassen. Der neue Querschnitt erzeugt aber von Neuem dieselbe Erscheinung. Taucht man einen solchen Muskel in die Zuckung erregende Lösung ein, so zieht er sich ebenso wie die gesunden Muskeln tetanisch zusammen, d. h. man kann die Zwischenstufe des contrahirten Zustandes und der Starre nicht mehr unterscheiden. Die Muskeln mit Wurali vergifteter Thiere zeigen also in dem zeitlichen Verlauf der Muskelzuckungen auf einen einmaligen Reiz einen grossen Unterschied im Vergleich zu den Muskeln unvergifteter Thiere, in der Erregbarkeit gegenüber chemischen Reizen scheinen sie sich aber nicht wesentlich anders zu verhalten.“

Es mag gleich hier erwähnt sein, dass nur die in zweiter Linie genannten Versuche als reine, d. h. als solche anzusehen sind, in denen lediglich die chemische Reizung wirksam ist, während die ersteren als die bekannten durch den Eigenstrom des Muskels erzeugten elektrischen Erregungen anzusprechen sind.

Weiter erwähnt Kühne, dass das auf den normalen Muskel völlig unwirksame Glycerin merkwürdiger Weise den curarisirten Muskel, wenn auch schwach, erregt, sobald sein Querschnitt in die Flüssigkeit getaucht wird. Rohrzuckerlösungen hingegen — concentrirte wie verdünnte — erregen zwar die motorischen Nerven, so dass die zugehörigen Muskeln zucken, aber nicht die Muskeln selbst. Nervenlose Muskelstücke werden daher in keiner Weise von Zuckerlösungen erregt, wohl aber solche, die mit Nerven durchsetzt

sind. Diese Erscheinung bleibt nun merkwürdiger Weise auch, allerdings in abgeschwächtem Maasse, bestehen bei curarisirten Muskeln.

Wie hat man sich nun alle diese merkwürdigen Erscheinungen zu erklären? Herr Professor Grützner theilt mir folgende Erklärung mit. Unzweifelhaft handelt es sich in den vorliegenden Fällen nur oder doch vorzugsweise um elektrische Reizungen, wenn die Muskelsubstanz allein von dem chemischen Reiz getroffen wird. Der Glycerinversuch ist nun offenbar so zu verstehen: Der curarisirte Muskel wird durch seinen Eigenstrom stärker gereizt als der nichtcurarisirte, auch wenn wir seine elektrische Erregbarkeit in beiden Fällen als gleich annehmen; denn der curarisirte Muskel hat, wie Röber[1]) gezeigt hat, einen stärkeren Eigenstrom. Wenn also auch das angewendete Glycerin ein sehr schlechter Leiter war, so war es doch sicher nicht ein absoluter Nichtleiter und nahm zudem aus dem Muskel selbst Wasser und leitende Substanzen auf, welche nach einiger Zeit eine Leitung zwischen Längsschnitt und Querschnitt herstellen konnten; daher die oft erst nach einiger Zeit eintretenden Zuckungen des Muskels.

Dass die curarisirten, in Zuckerwasser getauchten Muskeln erst zuckten, wenn die nervenhaltigen Abschnitte derselben mit der Flüssigkeit in Berührung kamen, liegt, abgesehen von der Verstärkung des Eigenstromes, in der höheren Erregbarkeit eben dieser Abschnitte, die trotz der Curarisirung doch noch so hoch ist, um eben diese Abschnitte zu erregen.

Schliesslich habe ich noch folgende Beobachtung über die chemische Reizung curarisirter und nicht curarisirter Muskeln mitzutheilen, welche wir Carslaw und Akerlund verdanken, die beide im Ludwig'schen Institut arbeiteten.

Carslaw[2]) macht folgende Mittheilungen über die Wirkungen schwacher und stärkerer Kochsalzlösungen. Leitete er unter mässigem Druck (30—40 mm Hg) durch die Aorta eines Froschhintertheils die betreffenden Lösungen, welche dann aus den Venen wieder abflossen, und verzeichnete er zugleich die Zusammenziehungen der durchströmten Wadenmuskeln, so ergab sich die merkwürdige Thatsache, dass eine sehr schwache, nämlich 0,2 % Kochsalz-

1) Archiv für Anat. u. Physiol. u. s. w. Jahrg. 1869 S. 440 und Kühne, Unters. aus dem Heidelberger physiol. Institut, Bd. 3, 1880 S. 5.

2) Archiv für (Anat. u.) Physiol. von du Bois-Reymond Jahrg. 1887 S. 429 (437).

lösung den nicht curarisirten Muskel zu einer lange Zeit dauernden Folge von kurzen, tetanischen Zusammenziehungen veranlasste, während der curarisirte, in ganz gleicher Weise durchströmte Muskel mit diesen Zuckungen viel später begann und sie ausserordentlich viel seltener, nur in grossen Zeitpausen, ausführte. Zu bemerken ist hierbei, dass diese schwache Kochsalzlösung die motorischen Nerven nach der gewöhnlichen Ausdrucksweise nicht im Geringsten reizte, d. h. ihre zugehörigen Muskeln vollkommen in Ruhe liess.

Ganz anders verhielten sich nun aber stärkere Kochsalzlösungen, zunächst solche, die der sogenannten physiologischen ziemlich nahe stehen, nämlich 0,5 procentige und stärkere. Diese lösten unter den gleichen Versuchsbedingungen spät beginnende und lang anhaltende, ganz schwache, kaum sichtbare Zitterbewegungen aus. Es liess sich aber, was merkwürdig ist, nicht der geringste Unterschied zwischen curarisirten und nicht curarisirten Muskeln nachweisen. Noch stärkere Kochsalzlösungen (von etwa 2 %) bedingen sofortige, gleichmässige und allmälig zunehmende Verkürzung der Muskeln. Ob diese curarisirt waren oder nicht, ist nicht erwähnt.

Åkerlund[1]) experimentirte mit etwa einprocentigen Lösungen von phosphorsaurem Natron (Na_2HPO_4), welches er im Verein mit 0,5 procentiger Kochsalzlösung in gleicher Weise, wie Carslaw, durch die Muskeln leitete und bemerkte hierbei folgende merkwürdige Thatsache. Der nicht curarisirte Muskel gerieth in Folge der Einspritzung in eine Reihe von Zuckungen (obwohl die Salzlösung für sich die motorischen Nerven nicht reizte); der curarisirte blieb ruhig. Wurde jetzt der zuführende Strom unterbrochen, so setzte der nicht-vergiftete Muskel seine Zusammenziehungen in der Regel noch einige Zeit fort, der curarisirte aber begann sich langsam und stetig zusammenzuziehen. Diese Zusammenziehung liess nach, wenn der Salzstrom wieder zufloss.

Indem ich die Erklärung dieser Erscheinungen auf später verschiebe, wende ich mich jetzt zu der Mittheilung meiner eigenen Versuche über denselben Gegenstand.

Eigene Versuche.

Um curarisirte und nicht curarisirte Muskeln von sonst möglichst gleicher Beschaffenheit mit einander zu vergleichen, wurde in der Regel

1) Archiv für (Anat. u.) Physiol. Jahrg. 1891 S. 279.

einem [1]) Frosche die rechte Arteria iliaca unterbunden und ihm dann in der Brustgegend eine kleine Menge (etwa 0,2 ccm) einer halbprocentigen Curarelösung unter die Haut gebracht. Nach wenigen Minuten zeigten sich die bekannten Wirkungen des Curare, von denen man sich regelmässig, auch nach Tödtung der Thiere, durch Reizung der Hüftnerven überzeugte. Nach vollkommener Vergiftung wurden die betreffenden Muskeln auf beiden Seiten auf's Sorgfältigste präparirt und in ganz gleicher Weise den chemischen Einwirkungen ausgesetzt.

Ich beschreibe zunächst einige Versuche mit gasförmigen Substanzen, die ich in ähnlicher Art ausführte wie Bernstein[2]) und seine Schüler. Die Muskeln wurden in einem kleinen abgeschlossenen Raum (etwa der feuchten Kammer eines Pflüger'schen Myographions) aufgehängt, und gleich weit von beiden entfernt war ein Schälchen mit der betreffenden flüchtigen Substanz aufgestellt.

Die ersten Versuche stellte ich mit Ammoniak an. Die beiden sorgsam präparirten Sartorii hingen über einem flachen Glasschälchen von 3 cm Durchmesser, in dem sich 2 ccm gewöhnliches Ammoniak befand. Der curarisirte Sartorius zog sich sofort stark zu wurstähnlicher Form zusammen, während der nicht curarisirte sich viel schwächer zusammenzog, aber nach zwei Minuten noch starke Zuckungen zeigte.

Die überaus leicht zu präparirenden Bicipites, welche bekanntlich ganz nahe an dem Hüftnerv und etwas aussen von ihm liegen, wurden in gleicher Weise geprüft und zeigten durchaus das gleiche Verhalten.

Mannigfache Wiederholungen und noch später zu besprechende Modificationen der Versuche ergaben dieselben Resultate, die auch graphisch mit den unten zu beschreibenden Apparaten fixirt wurden.

Recht merkwürdig wirkt das Chloroform, zunächst auch in Dampfform angewendet. Folgende Versuchsbeispiele geben hierüber Auskunft.

Versuch 1.

Anordnung wie im vorigen Versuch; nur werden statt Ammoniak 2 ccm Chloroform in das Schälchen gegossen um 10 Uhr 55 Min. Der curarisirte Muskel zeigt gleich im Anfang schwache Zusammenziehungen. 11 Uhr 5 Min. zieht er sich bedeutend zusammen und krümmt sich hierbei stark um seine innere,

1) Zur Verwendung kamen fast nur Grasfrösche (r. temporaria).

2) Siehe oben S. 4.

hintere Seite, d. h. also um diejenigen Muskelfasern, die auf den Muskeln des Oberschenkels aufliegen. 11 Uhr 15 Min bildet er, indem die Zusammenziehung und Krümmung der inneren Muskelschichten fortschreitet, geradezu eine Röhre und hat sich hierbei auf etwa ein Fünftel seiner Länge verkürzt.

Der nicht curarisirte zeigt anfangs auch schwache Zusammenziehungen, verkürzt sich dann plötzlich sehr bedeutend, ohne sich so stark (aber in derselben Richtung) zusammenzurollen, und erreicht erst 8 Minuten später als der curarisirte Muskel seine stärkste Verkürzung auf etwa ein Fünftel seiner Länge.

Die Bicipites verhalten sich ganz ähnlich.

Versuch 2.

Anordnung wie bei Versuch 1. Sartorii 11 Uhr 15 Min. über Chloroform gehängt. Bis 11 Uhr 18 Min. zeigt der curarisirte geringfügige Zusammenziehungen, wendet sich dann um die der Haut nahe gelegene, vordere Muskelschicht, bleibt ziemlich ruhig bis 11 Uhr 30 Min. und dreht sich dann plötzlich auf die andere Seite, indem er sich zugleich stark zusammenzieht und wie derjenige im ersten Versuch eine nahezu geschlossene Röhre bildet.

Der nicht curarisirte zeigt anfänglich kleine Zusammenziehungen nach der Hautseite, bleibt dann etwa 10 Minuten ruhig, dreht sich hierauf ebenfalls nach der entgegengesetzten Seite, und zwar so weit, dass 11 Uhr 48 Min. sein unteres Ende in gleicher Höhe mit dem oberen zu stehen kommt.

Diese und viele andere Versuche lehrten also, dass der curarisirte Muskel in Folge der Chloroformeinwirkung sich stärker und namentlich in seinen inneren Lagen stärker zusammenzog als der nicht-curarisirte. Bemerkt sei ausserdem noch, dass die Chloroformdämpfe auf frei präparirte Nervenstämme, wenn die Muskeln vor der Berührung der Dämpfe geschützt wurden, nicht erregend wirkten, sondern wie dies ja bereits Bernstein[1]) vor längerer Zeit festgestellt hat, nach kurz dauernder Erhöhung der Erregbarkeit, dieselbe ziemlich schnell herabsetzten. Dass auch Ammoniak nicht erregend auf motorische Nerven wirkt, ist nach den Untersuchungen Kühne's allgemein bekannt.

Schliesslich verwendete ich auch noch Aether. Dass derselbe nicht so stark wirkt und namentlich nicht so schnell schädigt, wie das Chloroform, beschreibt bereits Klingenbiel. Bernstein führte mit Morgen die Angelegenheit weiter aus und zeigte unter Anderem, dass ein mässig ätherisirter Muskel sich in Folge von Chloroform schnell und gewaltig zusammenzieht, während der Aether für sich diese Zusammenziehung erst nach längerer Zeit zur Folge hat.

1) Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen Bd. 10 S. 280. 1870.

Meine Versuche ergaben mir Folgendes. Beide Muskeln zogen sich wenig zusammen; der curarisirte aber wohl etwas mehr, als der nicht curarisirte. Einzelne Zuckungen wurden nicht bemerkt.

Werden die Aetherwirkungen stärker gemacht, indem man statt der feuchten Kammer einen gut schliessenden Glascylinder von etwa 240 ccm Inhalt und dieselbe Aethermenge verwendet, so ist — wie mir Herr Professor Grützner mittheilt — die Wirkung eine viel stärkere, indem sich beide Muskeln (Sartorii) nach etwa vier Minuten zu einer Halbröhre zusammenziehen, deren hohle Seite ebenfalls der inneren Muskelschicht angehört. Nach 5—6 Minuten zeigt sich der curarisirte etwas stärker zusammengezogen. Beide Muskeln (ebenso die Chloroformmuskeln) haben dann reichlich eine wässerige Flüssigkeit ausgeschwitzt, die intensiv sauer reagirt.

Auf die motorischen Nervenstämme selbst wirkt Aether, in obiger Art angewendet, nicht erregend.

Das Endergebniss aller dieser Versuche war also, dass durch die genannten chemischen Reize der nervenlose (curarisirte) Muskel zu stärkerer Zusammenziehung veranlasst wurde als der nervenhaltige, nicht curarisirte.

Um nun aber diese chemischen Stoffe besser in ihren quantitativen Wirkungen abmessen zu können, was bei Anwendung von Dämpfen kaum möglich ist, wurde die bei Weitem grösste Anzahl von Versuchen in der Weise angestellt, dass man beide Muskeln in völlig gleicher Art in die betreffenden Lösungen versenkte und ihre Verkürzungen aufzeichnen liess.

Hierzu bediente ich mich des folgenden von Herrn Professor Grützner hergerichteten Apparates. An zwei auf der Grundplatte eines kleinen Myographions befindlichen senkrechten Messingsäulen befand sich unten in einem Halter ein kleines cylindrisches Gläschen von 3—4 cm Höhe und 1,8 cm Durchmesser. Halter und Gläschen konnten an den Messingsäulen auf und nieder bewegt und mit einer Schraube in beliebiger Höhe befestigt werden. Sie wurden mit den betreffenden Flüssigkeiten gefüllt und nahmen die Muskeln (meistens die Sartorien und Bicipites) in sich auf. Oberhalb des das Gläschen tragenden Halters war nämlich an den Messingsäulen in gleicher Art verschiebbar und mit Schraube zu befestigen ein etwa 8 cm langer, 2 mm dicker, senkrechter Glasstab angebracht, der unten zu einem passend gekrümmten Häkchen umgebogen war. In dieses

Häkchen wurde das untere Ende des Muskels mit einer Fadenschlinge befestigt. Ein Häkchen von Metall wurde in ähnlicher Weise mit seinem oberen Ende in Verbindung gebracht. Dieses Häkchen aber war an dem Ende eines Fadens befestigt. Derselbe führte senkrecht in die Höhe über eine kleine, an derselben Messingsäule befindliche und verschieden hoch einzustellende Rolle und von da nach abwärts durch ein Loch der Grundplatte des Myographions an den Zeichenhebel.

In ganz gleicher Weise ging von dem zweiten Muskel ein eben solcher Faden an einen unter dem ersten befindlichen Zeichenhebel, der wie jener in bekannter Weise beschwert wurde (und zwar gewöhnlich Gastrocnemii mit etwa 1,0 g, Sartorii und Bicipites mit etwa 0,2 g) und seine Bewegungen an die langsam rotirende, berusste Trommel aufschreiben konnte.

Bei der Anstellung der Versuche wurden zuerst die beiden möglichst unverletzten Muskeln in die Glashäkchen eingehängt und dann von unten her die mit den Flüssigkeiten erfüllten Gläschen über sie und an den Glasstab hinaufgeschoben, was nur ein Paar Secunden Zeit in Anspruch nahm. So wurden sie nahezu gleichzeitig gereizt und konnten ihre Verkürzungen übereinander aufzeichnen, ähnlich wie dies Carslaw und Åkerlund mit ihren durchspülten Muskeln beschrieben haben. Die Vergrösserung war für beide Hebel natürlich genau gleich gross und nahezu 3,5fach. In der Regel zeichnete der curarisirte Muskel die obere Curve. Doch wurde auch der Controle halber manchmal gewechselt.

Aus der grossen Anzahl meiner Versuche seien in erster Linie Beispiele von denjenigen mit Ammoniak, Chloroform und Aether mitgetheilt. Alle Verdünnungen erfolgten mit 0,6 % NaCl-Lösung.

I. Versuche mit Ammoniak. Die Muskeln (Sartorii, S) werden 1. in Normalammoniak-Lösung getaucht und zeichnen folgende Curven (s. Fig. 1a). Sie sind, wie fast alle andern, auf die Hälfte verkleinert. Die (zum Theil nachträglich eingezeichneten) Zeitmarken bedeuten hier, wie durchweg, wo nichts Besonderes bemerkt ist, Minuten. Man sieht die gewaltigen Zusammenziehungen, die aber durchweg grösser ausfallen bei den curarisirten *(c)* Muskeln. (vgl. die obere Curve *c* mit der unteren des normalen *n*).

Die Curven in Fig. 1b zeigen die Zusammenziehungen der Bicipites *(B)*.

2. Die Verwendung von $^1/_2$-Normallösung ergab für die Sartorien die interessanten Curven in Fig. 2. Sie zeigen, wie vielmehr der curarisirte Muskel stärker und dauernder zusammengezogen

Fig. 1 a. Sartorien in Normal-Ammoniak.

Fig. 1 b. Bicipites in Normal-Ammoniak.

Fig. 2. Sartorien in $^1/_2$ Normal-Ammoniak.

bleibt als der nicht curarisirte, und wie letzterer durch das geringe Gewicht des beschwerten Hebels über seine ursprüngliche Länge gedehnt wird.

3. $^1/_{10}$-Normallösungen veranlassen mehr schnelle Zusammenziehungen und in den nicht curarisirten Muskeln Zuckungen. (Fig. 3 Curve *n*.) Zudem ändert sich die Art der Zusammenziehungen in hohem Maasse, indem ähnlich wie bei einer Veratrincurve, nur in viel grösseren Zeiträumen, auf ein jähes Ansteigen ein ebenso jähes Senken mit sich anschliessendem, ganz allmäligem Ansteigen folgt.

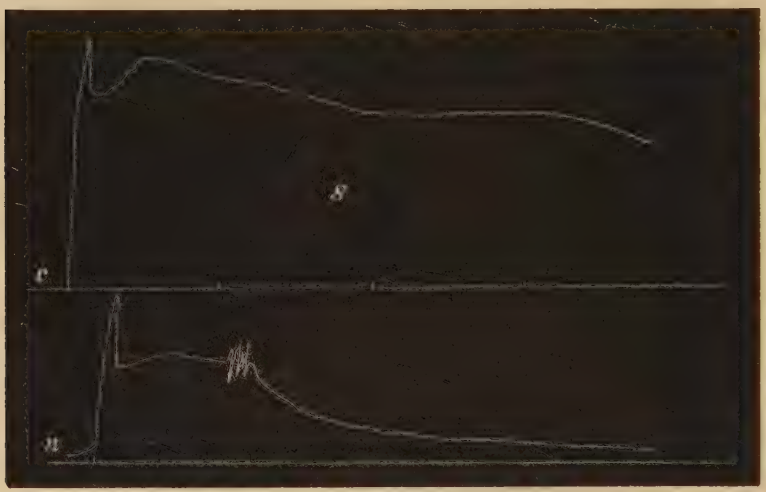

Fig. 3. Sartorii in $^1/_{10}$ Normal-Ammoniak. ¦Nat. Grösse.

Fig. 4. Bicipites in $^1/_{20}$ Normal-Ammoniak.

An den Bicipites und an den Gastrocnemii habe ich eine derartige Zusammenziehung, die man zweckmässig (nach Funke) Nase nennen kann, nicht beobachtet. Ihre Zusammenziehungen, in Folge Reizung mit diesen schwachen Ammoniaklösungen, die ich desshalb nicht noch einmal in Zeichnungen wiedergebe, gleichen immer durchaus den in Fig. 1 b gezeichneten.

4. Für die Wirkung von $^1/_{20}$-Normallösungen mögen die Curven in Fig. 4 von zwei Bicipites als Beleg dienen. Die ungemein grosse Verschiedenheit in der Höhe und der Schnelligkeit des Anstieges ist besonders bemerkenswerth.

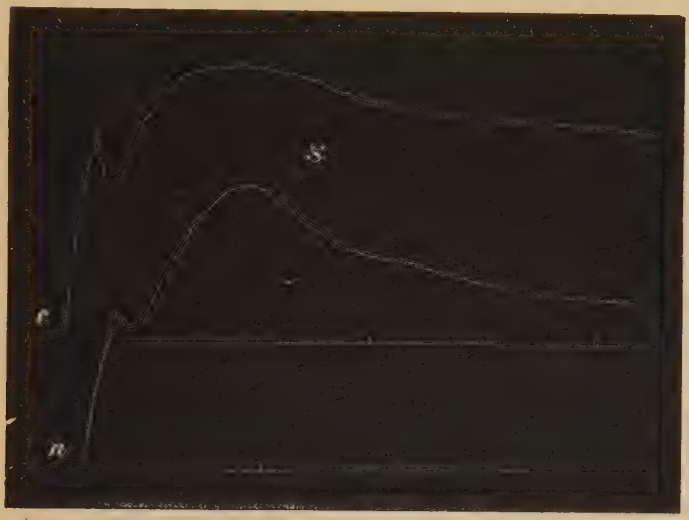

Fig. 5 a. Sartorien in $^1/_{100}$ Normal-Ammoniak. $^3/_4$ nat. Grösse.

Fig. 5 b. Bicipites in $^1/_{100}$ Normal-Ammoniak. Nat. Grösse.

5. $^1/_{100}$-Normallösungen zeigen bei den Sartorien wieder die Nasen[1]), bei den Bicipites aber nicht; im Uebrigen dieselben

1) Auch Schenck (Pflüger's Archiv Bd. 61 S. 494 [504] 1895) hat kürzlich diese Nasen bei mit Ammoniak vergifteten Muskeln beschrieben und auf die Aehnlichkeit mit Veratrincurven hingewiesen.

Gesetzlichkeiten (s. Fig. 5a und 5b, die von zwei verschiedenen Fröschen herstammen).

II. Die Versuche mit Chloroform ergeben ähnliche Verhältnisse, wie aus folgenden Versuchsbeispielen hervorgeht.

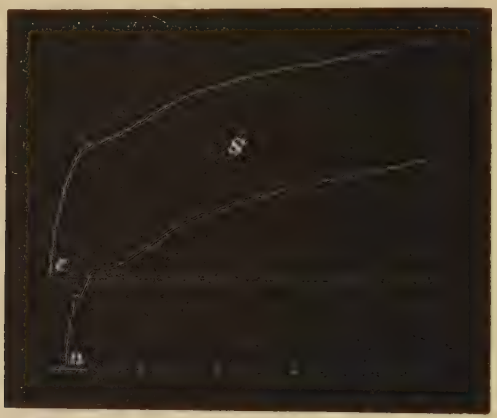

Fig. 6a. Sartorien in Chloroform 1 : 10.

Fig. 6b. Bicipites in Chloroform 1 : 10, $^2/_3$ nat. Grösse.

1. Fig. 6a zeigt die Zusammenziehungen zweier Sartorien, welche in ziemlich starkes Chloroform getaucht wurden, nämlich in eine Mischung von Chloroform und physiologischer Kochsalzlösung im Verhältniss von 1 : 10. Dieselbe wurde vor dem Gebrauch gut aufgeschüttelt.

Man sieht die gewaltige Verkürzung namentlich des curarisirten Muskels, die keine ausgesprochene Nase zeigt, während der nicht curarisirte eine kleine Nase hat und sich dann nicht so bedeutend, wenn auch immer noch sehr bedeutend, zusammenzieht. Die späteren Verkürzungen sind nicht vollständig ausgezeichnet.

Auch die kleinen Bicipites (es handelte sich allerdings um einen grossen männlichen Grasfrosch) ziehen sich, wie Fig. 6b beweist, gewaltig zusammen. Die Andeutung einer Nase ist vielleicht bei dem curarisirten zu sehen.

2) Auch eine viel schwächere Chloroformmischung (Chloroform zu physiologischer Kochsalzlösung wie 1 : 100) reizt noch

Fig. 7. Sartorien in Chloroform 1 : 100. 2/3 nat. Grösse.

stark, und wiederum traten bei den Sartorien, nicht bei den Bicipites, deren Curven nicht wiedergegeben sind, die Nasen deutlich zu Tage (s. Fig. 7).

III. Ich wende mich schliesslich zu den Versuchen mit Aether und theile wiederum ein paar Versuchsbeispiele mit: 1. zunächst bei Verwendung einer Mischung mit physiologischer Kochsalzlösung im Verhältniss von 1 : 10. Die Curven, Fig. 8, zeigen die Zusammenziehungen der Sartorien mit den stark entwickelten Nasen. Diejenigen der Bicipites zeigen keine Nasen.

2. Aether mit physiologischer Kochsalzlösung im Verhältniss von 1 : 100 hat sehr merkwürdige Wirkungen. Die

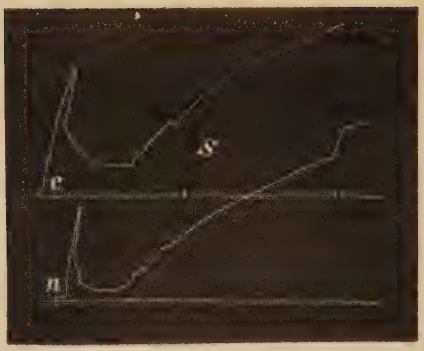

Fig. 8. Sartorien in Aether 1 : 10.

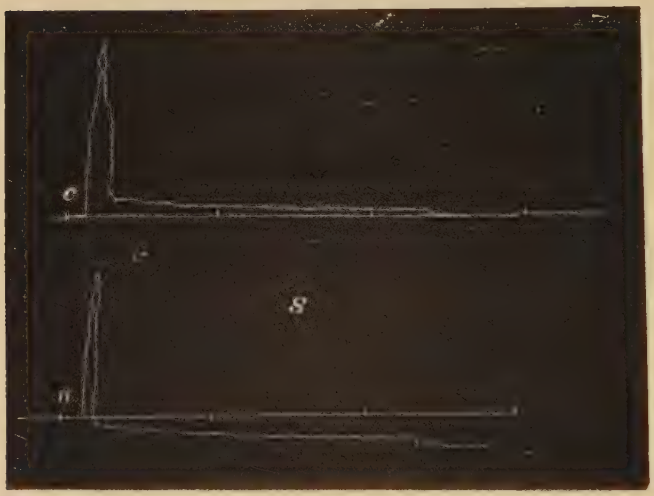

Fig. 9 a. Sartorien in Aether 1 : 100. Nat. Grösse.

Fig. 9 b. Bicipites in Aether 1 : 100. Nat. Grösse.

Sartorien werden durch ihn innerhalb kurzer Zeit schnell und bedeutend verkürzt, bleiben aber nicht lange auf dieser Höhe, sondern nehmen sehr bald nahezu ihre ursprüngliche Länge an, wie dies der curarisirte thut, oder werden sogar noch länger, wie das bei dem nicht curarisirten in Fig. 9a zu sehen ist.

Ganz ähnlich verhielten sich die Bicipites, die aber wiederum keinen anfänglichen bedeutenden Anstieg, also keine Nase zeigten, sondern sich, der curarisirte nur eine Spur, der nicht curarisirte aber gar nicht zusammenzog, sondern sofort erst wenig, dann ziemlich stark verlängerte (s. Fig. 9b)[1]).

Indem ich die Erklärung aller dieser Versuchsergebnisse — soweit sie mir eben möglich ist — bis auf später verschiebe, fasse ich dieselben hiernach folgendermaassen zusammen.

1. Der curarisirte Muskel wird durch die genannten chemischen Stoffe (Ammoniak, Chloroform und Aether) in den verschiedensten Concentrationen stärker gereizt als der nicht curarisirte. Gewöhnlich zieht er sich innerhalb kürzerer Zeit und schliesslich bedeutender zusammen als der nicht curarisirte. 2. Schwächere Lösungen, seien es verdünntere von an und für sich stark wirkenden Stoffen oder solche von an und für sich schwach wirkenden Stoffen, geben bei den Sartorien, nicht bei den Bicipites, Veranlassung zu den Nasen, denen dann wieder bedeutende und lang anhaltende Verkürzungen folgen können. Ist schliesslich 3. die Reizwirkung der Lösungen eine sehr schwache, so kommt es nur zur Bildung der Nasen. Es schliesst sich keine weitere Verkürzung, sondern unter Umständen sogar eine Verlängerung der Muskeln an. Diese Verlängerung über die normale, anfängliche Länge der Muskeln hinaus kann bei den Bicipites sogar das einzige Ergebniss der Reizwirkung sein, aber nur bei nicht curarisirten, während die curarisirten wenigstens eine ganz geringfügige Zusammenziehung zeigen.

Schliesslich sei noch einmal hervorgehoben, dass alle bis jetzt angewendeten Lösungen die motorischen Nervenstämme der Muskeln

---

1) Nach Abschluss meiner Arbeit wurde ich auf die interessanten Untersuchungen von Locke (Journal of experimental medicine vol. 1, 1896) aufmerksam gemacht, der auch eine ähnliche merkwürdige Eigenschaft des Aethers untersucht hat. Er fand, dass Sartorien, welche in Folge von Veratrinvergiftung oder Austrocknung (s. unten S. 26) keine Zuckungen, sondern langdauernde Zusammenziehungen ausführen, durch Aetherisirung sofort (unter denselben Bedingungen) zu kurz dauernden Zuckungen veranlasst werden.

nicht reizen, d. h. die zugehörigen Muskeln nicht zur Zusammenziehung irgend welcher Art veranlassen.

Wie steht es nun aber mit solchen Lösungen, die an und für sich auch den motorischen Nerven erregen und ausserdem auch Reize für den Muskel sind, z. B. mit starken Salzlösungen? Aller Wahrscheinlichkeit nach werden doch diese den nicht curarisirten Muskel, der dann gewissermaassen von zwei Seiten angegriffen wird, viel stärker erregen als den curarisirten, der von seinen Nerven aus nicht angegriffen werden kann. Merkwürdiger Weise ist gerade das

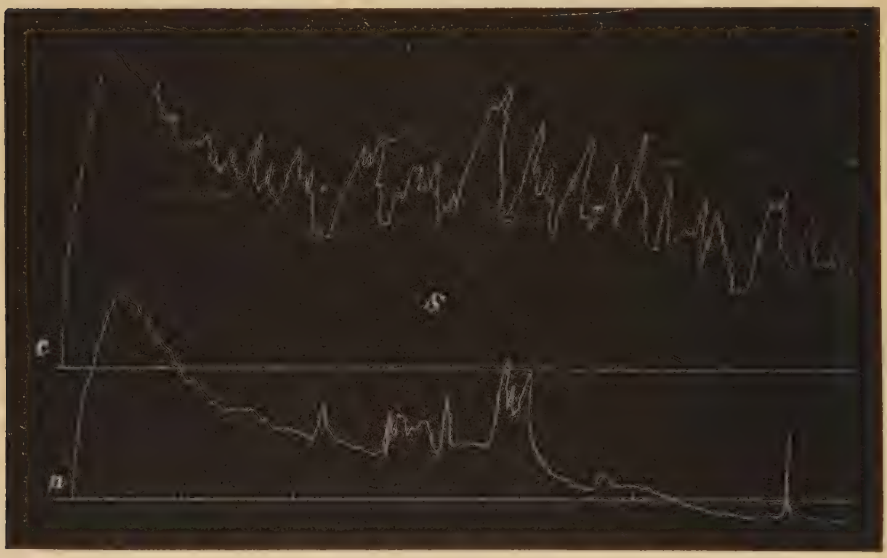

Fig. 10 a. Sartorien in 1/10 Normal-Fluornatrium. 3/4 nat. Grösse.

Umgekehrte der Fall, und wiederum wird auch von diesen Reizmitteln der zweiten Art, wie ich sie kurz nennen will, der curarisirte Muskel stärker erregt, als der nicht curarisirte, wie folgende Versuchsbeispiele beweisen.

Als reizende Flüssigkeiten wurden zunächst verschieden starke, und wenn es sich um Vergleichungen handelte, äquimoleculare Lösungen der Haloidsalze des Natriums verwendet, also Lösungen von Fluor-, Chlor-, Brom- und Jodnatrium, und die Muskeln einfach in die Flüssigkeiten eingelegt. Von diesen „Einlegeversuchen", welche, wie ich glaube, manche interessante Besonderheiten bieten und weiter unten zusammen genauer beschrieben werden sollen, sei hier nur mitgetheilt, dass die curarisirten Muskeln andauernder und in der

Regel kräftiger erregt wurden als die nicht curarisirten. Zeichnete man dagegen ihre Zusammenziehungen auf, so erhielt man folgende Ergebnisse.

IV) 1. Fluornatrium in Normallösung (4,2 %) ergibt bei Sartorien und Bicipites gleichmässige und starke Zusammenziehungen, die bei den curarisirten $^4/_3$ bezw. $^5/_4$ Mal so gross sind als bei den nicht curarisirten.

2. $^1/_{10}$ Normallösungen von Fluornatrium rufen langanhaltende bedeutende Zuckungen hervor, die sich bei den curarisirten von einer höheren Basis erheben, als bei den nicht curarisirten und bei letzteren ziemlich früh zu Erschlaffungen der Muskeln führen. Hin und wieder werden auch diese noch von starken, aber seltenen Zuckungen unterbrochen. Der curarisirte Muskel aber zuckt überhaupt viel häufiger und länger als der nicht curarisirte, wie dies aus Fig. 10a deutlich zu ersehen ist. Es sei bemerkt, dass dieser Versuch mit den weiter unten mitzutheilenden im Widerspruch zu stehen scheint, indem nicht curarisirte Muskeln, einfach in die Flüssigkeit eingelegt, stärkere fibrilläre Zuckungen aufweisen als die curarisirten. · Es ist aber zu bemerken, dass sich die ganz geringfügigen und häufigen Erzitterungen nicht curarisirter Muskeln nicht immer aufschreiben, während die mehr tetanischen der curarisirten dies thun.

Fig. 10b. Bicipites in $^1/_{10}$ Normal-Fluornatrium. Nat. Grösse.

Ganz das Gleiche, nur in noch viel auffallenderer Weise, zeigen die Bicipites eines anderen Frosches. (Siehe Fig. 10b.)

Hinzugefügt sei, dass Normallösungen oder Halbnormallösungen von Fluornatrium den motorischen Nerven gewaltig erregen [1]), während $^1/_{10}$ Normallösungen ihn nicht oder erst nach 15—20 Minuten langer Dauer schwach erregen, so dass seine Muskeln seltene und schwache Zusammenziehungen ausführen.

V) Ich wende mich zu den Wirkungen von Kochsalzlösungen, und zwar 1. zunächst von zweifach Normallösungen (11,6 %). Sie veranlassen bei den Sartorien und bei den Bicipites (namentlich den curarisirten) kleine Nasen; bei den curarisirten ausserdem in der Regel stärkere Zusammenziehungen, auf die sich nicht selten Zuckungen aufsetzen, bei den nicht curarisirten geringere Zusammenziehungen, ebenfalls mit Zuckungen durchsetzt. Ein lehrreiches Beispiel zeigt hiervon Fig. 11.

Fig. 11. Sartorien in zweifach Normal-Kochsalz.

2. Normallösungen von Kochsalz (5,8 %) wirken nicht viel anders. Nur ist der Unterschied in der andauernden Zusammenziehung zwischen curarisirten und nicht curarisirten Muskeln geringfügig. Ja nicht selten sind die einzelnen Zuckungen häufiger in dem nicht curarisirten, der sich auch ganz abweichend von allen anderen Beobachtungen stärker zusammenzieht als der curarisirte. Hier also scheinen sich die Reizwirkungen, von denen zu gleicher Zeit Nerv und Muskeln getroffen werden, zu addiren.

3. Schwächere Lösungen habe ich, da dies bereits von anderer Seite [2]) geschehen war, nicht eingehend untersucht. Carls-

1) Vgl. Grützner, Chemische Reizung motorischer Nerven. Pflüger's Archiv Bd. 52 S. 83. 1892.

2) S. oben S. 29.

law gibt an, dass 2 %ige Kochsalzlösungen, welche er durch die Gefässe der Muskeln spritzte, diese nicht zu Zuckungen, sondern zu gleichmässiger Verkürzung brachten, während schwächere Lösungen, von etwa 1 %, was auch ich von vielen anderen reizenden Flüssigkeiten feststellen konnte (siehe S. 22 und S. 32), viel eher zu Zuckungen Veranlassung geben. Ob er hierbei auch curarisirte und nicht curarisirte Muskeln mit einander verglichen hat, ist in seiner Arbeit nicht erwähnt. Wohl aber hat er das Verhalten dieser beiden Muskeln mit einander verglichen bei der Durchspülung von 0,5—0,7 %igen Kochsalzlösungen. Einen Unterschied zwischen curarisirten und nicht curarisirten Muskeln konnte er hierbei nicht auffinden. Nach meinen Erfahrungen ist der Unterschied sehr gering, aber doch vorhanden. Der curarisirte Muskel zog sich in 1/10 Normal-

Fig. 12. Bicipites in 1/10 Normal-Kochsalz. 3/4 nat. Grösse.

kochsalzlösung sehr wenig, aber doch sofort zusammen und verharrte dann auf einer geringen Höhe. Zu fast derselben Höhe erhob sich auch der nicht curarisirte, aber erst nach längerer Zeit. Mitunter zeigten sich, wie auch Carlslaw bemerkt, ganz kleine Zuckungen namentlich bei den Sartorien. Fig. 12 dient als Beispiel einer derartigen Einwirkung auf zwei Bicipites. Einen ziemlich bedeutenden Unterschied zwischen curarisirten und nicht curarisirten Muskeln fand hingegen Carlslaw, wenn 0,2 %ige Kochsalzlösungen verwendet wurden. Der nicht curarisirte Muskel gerieth hierdurch in viel häufigere „tetanische Anfälle“ als der curarisirte (siehe Fig. 3 in der Arbeit von Carlslaw S. 437).

Herr Prof. Grützner hat kürzlich im Verein mit Herrn Dr. Bürker diese Versuche wiederholt und die Angaben von Carlslaw bestätigen können, wiewohl er nicht immer einen so grossen Unterschied zwischen dem curarisirten und nicht curarisirten

Schenkel finden konnte, wie aus Carlslaw's Beschreibungen als regelmässig hervorzugehen scheint. Eine Thatsache aber wurde bei diesen Versuchen beobachtet, die wohl des Erwähnens werth ist und die hiermit auf Grund der Versuche und Ansichten von Herrn Prof. Grützner an dieser Stelle mitgetheilt sei.

Durch Grünhagen[1]) wurde zuerst darauf hingewiesen, dass Froschschenkel, welche man der Vertrocknung aussetzt, in Folge leiser Berührung nicht bloss eine örtliche tetanische Zusammenziehung zeigen, sondern dass sich diese Zusammenziehungen auf den ganzen berührten Muskel, ja sogar auch auf andere benachbarte Muskelgruppen übertragen und den ganzen Rest des Thieres zu höchst merkwürdigen Haltungen und Stellungen veranlassen, die bei dem Unkundigen geradezu den Glauben erwecken, als seien die halbvertrockneten Glieder zu einem neuen Leben erwacht. Kühne[2]) hat dann des Weiteren gezeigt, dass man diese Uebertragung des Reizes von einer Muskelfaser auf benachbarte leicht erreichen kann, wenn man die Muskeln aufeinanderpresst, und Biedermann[3]) hat diese merkwürdige Uebererregbarkeit vertrocknender Muskeln auf mechanische Reize mit den darauf folgenden, lange dauernden Contractionen genauer untersucht. Schliesslich hat auch Langendorff[4]) durch Injection von 1,5—2,0 ccm Glycerin, welches bekanntlich stark Wasser entziehend wirkt, unter die Haut von Fröschen ganz die gleichen Erscheinungen feststellen können.

Die genannten Forscher kommen hiernach zu dem Schluss, dass es die Vertrocknung ist, welche den Reiz von einer Muskelfaser auf die benachbarten überträgt, und zwar nach Art des sogenannten secundären Tetanus, d. h. also durch Actionsströme, welche in den durch Berührung erregten Muskelfasern erzeugt werden und sich in benachbarten Muskelfasern abgleichen.

Nun ganz die gleichen Erscheinungen kann man auch beobachten, wenn man durch die Schenkel eines curarisirten oder nicht curarisirten Frosches von der unteren Aorta aus 0,2 %ige Kochsalzlösung

1) Lehrbuch der Physiologie Bd. 2 S. 81. 1886.

2) Zeitschrift für Biologie N.-F. Bd. 6 [24] S. 383, 1888 und ebenda Bd. 18 [26] S. 203, 1890.

3) Wiener Akad. Ber., math.-nat. Classe Bd. 97 Abth. 3 S. 145, 1888 und seine Elektrophysiologie S. 365, 1895.

4) Archiv für (Anat. u.) Physiologie von du Bois-Reymond Jahrg. 1891 S. 480.

unter einem mässigen Druck (von 15—30 mm Hg) fliessen lässt. Nach wenigen Minuten beginnt eine Unruhe in den Gliedern, bald darauf starke, oft wunderliche Zusammenziehungen der Schenkel, und nachdem der Strom einige Zeit geflossen ist und die Schenkel ein wenig geschwollen und blass geworden sind, ruft jede leise oder kräftige Berührung eines Muskels eine lang andauernde Zusammenziehung dieses und nicht selten auch vieler benachbarter Muskeln hervor. Ja, es können diese Bewegungen auch noch solche in entfernteren Muskeln zur Folge haben, so dass man keinen Augenblick im Zweifel ist, es handle sich hier um ganz dieselben Vorgänge, die man bei Vertrocknung oder Zusammenpressung von Muskeln beobachten kann.

Nun wird aber kein Mensch einen Muskel, dessen Gefässe mit 0,2 %iger Kochsalzlösung durchspült werden, so ohne Weiteres mit einem vertrocknenden vergleichen wollen. Und dennoch ganz die gleichen Erscheinungen! Auch die Durchspülung mit Wasser wirkt ähnlich, wenn auch in Folge zu schneller Tödtung der Muskeln nicht so anhaltend und andauernd. Offenbar sind auch in den Untersuchungen von Carlslaw bezw. von Åkerlund dieselben Vorgänge gesehen worden. In der Arbeit von Åkerlund findet sich folgende Mittheilung: „Am Ende des Winters wurden der eine oder beide Schenkel einer Anzahl von Fröschen von der Aorta abdominalis aus durch curarehaltige, 0,7 %ige NaCl-Lösung vergiftet. Als nun durch die Gefässe ein Lösungsgemenge[1]) von Na_2HPO_4 1,5 % oder 1,0 % und von NaCl = 0,5 % geleitet wurde und in Folge dessen in dem unvergifteten Glied der gewöhnliche Tetanus ausbrach, wurde die Zuleitung der Flüssigkeit unterbrochen. Alsbald fand sich nun eine mächtige Verkürzung im vergifteten Muskel ein, die jedoch allmälig wieder nachliess." ... „Waren beide Schenkel curarisirt, so stellte sich die Erscheinung auch beiderseits her, zuweilen so übereinstimmend, dass die Meinung nicht abzuweisen war, es sei ein äusserer Anstoss, keineswegs die Reizbarkeit der Muskeln an den Erhebungen des Muskels schuld."

Herr Prof. Grützner ist auch der entschiedenen Meinung, dass hier in Folge eines „äusseren Anstosses" ganz dieselben Erscheinungen vorlagen, wie bei den durch 0,2 %ige Kochsalzlösung durchspülten Muskeln, d. h. lang dauernde tetanische Zusammenziehungen in Folge unbedeutender, gar nicht weiter beachteter

1) In welchen Verhältnissen, ist nicht gesagt.

mechanischer Reize oder Erschütterungen, wie solche mit der Abstellung des Salzstroms sehr wohl verbunden sein können. Wenn auch in der Åkerlund'schen Arbeit gesagt ist, Carlslaw „konnte die Annahme widerlegen, dass eine Erschütterung des Muskels, wie sie z. B. durch eine vorübergehende Zerrung desselben veranlasst wird, die Contraction bewirke", so gibt es doch noch tausend andere, viel schwächere (vielleicht wirksamere) mechanische Reize, die jene allgemeinen tetanischen Zusammenziehungen sehr wohl auslösen können.

Fig. 13. Mit 0,2 procentiger Kochsalzlösung durchspülter Wadenmuskel, elektrisch gereizt. 1/3 nat. Grösse.

Wie sehr ein Muskel durch die Durchspülung mit 0,2 %iger Kochsalzlösung zu tetanischen Verkürzungen in Folge kurz dauernder momentaner Reize (z. B. Oeffnungsschläge) veranlasst wird, zeigt folgendes Versuchsbeispiel von Herrn Prof. Grützner.

Versuch.

Enthäutetes Hintertheil eines grossen weiblichen Grasfrosches von der Aorta aus mit 0,2 %iger Kochsalzlösung unter einem Druck von 15—20 mm Hg durchspült. Die Spülflüssigkeit befand sich in einer Drechsel'schen Flasche, deren Inhalt durch eine kleine Handgummipumpe, wie man sie zum Zerstäuben von Flüssigkeiten benützt, auf der entsprechenden Druckhöhe gehalten wurde. Nach 2 Minuten langer Durchspülung tritt die Uebererregbarkeit für mechanische Reize ein. Ein Wadenmuskel wird schnell präparirt und bei abgeblendeten Schliessungsinductionsströmen direct durch Oeffnungsinductionsschläge (Rollenabstand 16 cm, ein Leclanché) hintereinander in den aus Fig. 13 ersichtlichen Pausen gereizt (die Zeitmarken bedeuten Secunden). Man sieht, wie schnell die tetanischen Zusammenziehungen, welche manchmal noch 3—4 Mal so lange dauern, in Folge der elektrischen Reize sich in nahezu gewöhnliche Zuckungen umwandeln. Sehr häufig sieht man auch Curven mit Nasen, die ganz und gar den bekannten (dikrotischen) Veratrincurven gleichen.

Wie ist nun aber jene vollkommene Gleichartigkeit zu erklären, welche besteht zwischen gepressten, halb vertrockneten und mit Wasser überschwemmten Muskeln? Was ist allen diesen 3 Behandlungen gemeinsam? Herr Prof. Grützner ist auf Grund obiger und

ähnlicher Versuche der Meinung, dass das Entscheidende und allen den Eingriffen Gemeinsame ein unter mehr oder weniger starkem Druck stattfindender Austausch chemischer Substanzen zwischen benachbarten Muskelfasern sei. Unter normalen Verhältnissen ist in jedem quergestreiften Skeletmuskel im Gegensatz zu denjenigen des Herzens jede Muskelfaser von der anderen streng und scharf geschieden, anatomisch durch das Sarkolemm, physiologisch durch den jeder einzelnen Muskelfaser und nur ihr zukommenden Reiz, der nur in ihr zur Auslösung kommt und dicht benachbarte vollkommen in Ruhe lässt. Anders, wenn diese schützenden Hüllen irgendwie geschädigt sind und dadurch gewissermaassen zahlreiche Protoplasmabrücken geschaffen werden; dann wird aus der dünnen einzelnen Muskelfaser so zu sagen eine einzige riesengrosse, die aus der Summe aller einzelnen Fasern desselben und sogar noch anderer Muskeln zusammengeschmolzen ist.

Dass sowohl starker Druck, als auch Durchspülung mit schwachen Salzlösungen und Vertrocknung, sowie schliesslich vielleicht noch mancherlei andere, uns nicht bekannte Einflüsse jene schützenden Hüllen durchbrechen und aus einer Summe einzelner kleiner Individuen ein einziges riesengrosses erzeugen, kann man sich sehr wohl vorstellen. Welcher Art nun freilich die Reizübertragungen sind, darüber dürften die Acten wohl noch nicht geschlossen sein. Kühne[1]) macht beispielsweise die treffende Bemerkung, es könnte Niemand verbürgen, „dass nicht irgend welche chemischen Erreger von einem Muskel zum andern übergehen, von denen es nach den Erfahrungen über die erstaunliche Wirkung des Ammoniaks z. B. nur der geringsten Spuren bedürfte, und welche durch ein Goldblättchen oder von einem Guttapercha-Häutchen sicherlich auch ferngehalten würden."

Biedermann und Langendorff sprechen sich entschiedener für die Uebertragung des Reizes auf elektrischem Wege gleich derjenigen bei dem secundären Tetanus aus. Herr Prof. Grützner möchte diesen Anschauungen nicht direct widersprechen, aber doch zu bedenken geben, dass, z. B. wie Kühne[2]) gefunden, schon die dünnsten, etwa so gut wie die Muskelsubstanz leitenden Membranen, wie das Mesenterium oder die ausgespannte Lunge des Frosches sich als „absolute Hindernisse" der Uebertragung des Reizes von einem Muskel auf den andern erweisen. Sollten diese zarten Membranen

1) S. 408 in seiner S. 26 erwähnten Arbeit.

2) Ebenda S. 403.

wirklich eine so gute Nebenschliessung bilden, um den elektrischen Strom wesentlich durch sich und nicht auch noch durch den auf ihnen fest liegenden Muskel gehen zu lassen? Dies dürfte doch recht unwahrscheinlich sein. Sah doch z. B. Du Bois-Reymond[1]) „andere Muskeln durch einen zwischengelegten, ruhenden Sartorius hindurch auf den übergelegten Nerven wirken“ und fand doch Kühne[2]) „die Wirkung noch an Schenkeln, deren Nerv auf einem 1 cm breiten, den ganzen Gastrocnemius bedeckenden Polster von 16 Lagen starken, in Salzwasser getränkten Fliesspapiers lag.“ Mein Lehrer ist vielmehr der Anschauung, dass es sich hier mehr um eine Uebertragung des Reizes handelt, die wir auch sonst von Zelle zu Zelle (wie etwa beim Herzen oder den glatten Muskeln) beobachten.

Bei dieser Uebertragung mögen elektrische Vorgänge die Hauptrolle spielen. Welcher Art aber dieselben sind, und in welcher Weise sie etwa von anderen Vorgängen unterstützt und überhaupt beeinflusst, durch welche noch so unscheinbare Mittel sie unmöglich gemacht werden, darüber sind wir trotz mancher geistreicher Hypothesen[3]) doch noch ziemlich im Unklaren.

Es bliebe nun noch die lang dauernde Zusammenziehung zu erklären, welche auf Grund der Reizung eines derartig behandelten Muskels zur Beobachtung gelangt. Auch hierfür möchte Herr Prof. Grützner wesentlich die Wirkung chemischer Substanzen verantwortlich machen, von denen ja bekannt ist, dass sie einen Muskel nicht zu einer einzigen, sondern zu einer Reihe von Zusammenziehungen veranlassen. Folgen diese Reize langsam auf einander — wie bei schwachen Salzlösungen —, so haben wir rhythmische Contractionen (s. Fig. 10a), folgen sie dagegen schneller und sind auch stärker — wie bei starken Lösungen —, so haben wir einen andauernden Tetanus (s. Fig. 1 a). Vertrocknung, Quetschung und Durchspülung mit Wasser oder wasserreichen Salzlösungen, sowie vielleicht gewisse, uns unbekannte Zustände, die sich bei der Thomsen'schen Krankheit im Muskel entwickeln, erzeugen diese fraglichen, veratrinartigen Stoffe und bringen den Muskel zu einer Contractur

1) Citirt nach Kühnes folgender Arbeit 2).

2) Untersuchungen aus dem physiol. Institut in Heidelberg Bd. 3 S. 1 [79], 1880.

3) Eine derartige Hypothese hat z. B. Hermann entwickelt. Vgl. sein Handbuch Bd. 4 Abth. 2 S. 194, 1879 und Pflüger's Archiv Bd. 35 S. 4, 1884, sowie Kühne's obige Arbeit (siehe Anmerk. 2).

statt zu einer Zuckung. (Aether ist, wie Locke gefunden hat, im Stande, diese Contractur bei veratrinisirten Muskeln zu beseitigen.) Auch werden diese Stoffe durch schnell aufeinander folgende Reize ganz wie das Veratrin in ihrer Wirkung mehr und mehr abgeschwächt (s. Fig. 13).

Für die Uebertragung des Reizes von einer Muskelfaser auf eine oder viele andere aber ist immer eine mechanische Schädigung, eben jene innige Berührung von Protoplasma nothwendig; sonst haben wir nur, wie beim Veratrinmuskel, die Dauerzusammenziehung, aber nicht die Uebertragung dieses Zustandes von einem Muskel auf benachbarte. Denn wie Biedermann gezeigt hat, bringt Veratrinvergiftung, welche die einzelnen Muskelfasern als gesonderte Individuen bestehen lässt, diese zwar zur Contractur, hat aber keine Uebertragung des Reizes von einem Muskel auf einen benachbarten zur Folge.

Auch Locke fasst in seiner interessanten Arbeit das Entstehen der Contractur in ähnlicher Weise wie mein Lehrer auf, der übrigens keineswegs, — was ich noch besonders hervorheben möchte — die Wirkung des Veratrins oder ähnlicher Agentien lediglich durch die gesonderte Thätigkeit der langsamen und schnellen Fasern in einem Muskel erklärt wissen will. Diese Behauptung ist nicht von ihm, sondern von anderer Seite ausgesprochen worden[1]).

Uebrigens dürfte man in dieser Trennung der anfänglichen Verkürzung und der nachfolgenden Dauerzusammenziehung des Muskels ein Analogon in physiologischen Vorgängen des Muskels finden. Wissen wir doch aus den classischen Untersuchungen von Fick, dass die Ueberführung des Muskels aus dem erschlafften in den contrahirten Zustand mit viel mehr Stoffverbrauch verknüpft ist als das Beharren des Muskels in dem contrahirten Zustande. Wir haben also hier zwei ganz verschiedene Vorgänge vor uns, die unter normalen Verhältnissen sich bei entsprechenden Reizfolgen unmittelbar aneinander anschliessen, hier aber durch die betreffenden Stoffe in ihrer Art verändert und zeitlich verschoben sind. Diese Veränderung betrifft namentlich den zweiten der beiden Vorgänge. Die Klammern, welche die Theilchen des zusammengezogenen Muskels gewissermaassen zusammenhalten, haken vielfach (wie bei den Veratrinnasen) zu spät ein und lassen (wie bei den Dauercontractionen) zu spät los.

---

1) S. die kürzlich erschienene Arbeit von Carvallo und Weiss (Journal de physiol. et de pathol. génér. I. 1, p. 1, 1899).

VI) Ich wende mich schliesslich noch zu den Versuchen, die ich an curarisirten und nicht curarisirten Muskeln mit verschieden starken Brom- und Jodnatriumlösungen angestellt habe und kann dieselben sehr kurz erledigen.

Starke Lösungen (zweifach und einfach normale), das ist rund 10—20 %ige, zeigen keine Besonderheiten. Die Muskeln ziehen sich stark und ziemlich gleichmässig, selten von Zuckungen unterbrochen, zusammen, und zwar die curarisirten mehr, als die nicht curarisirten.

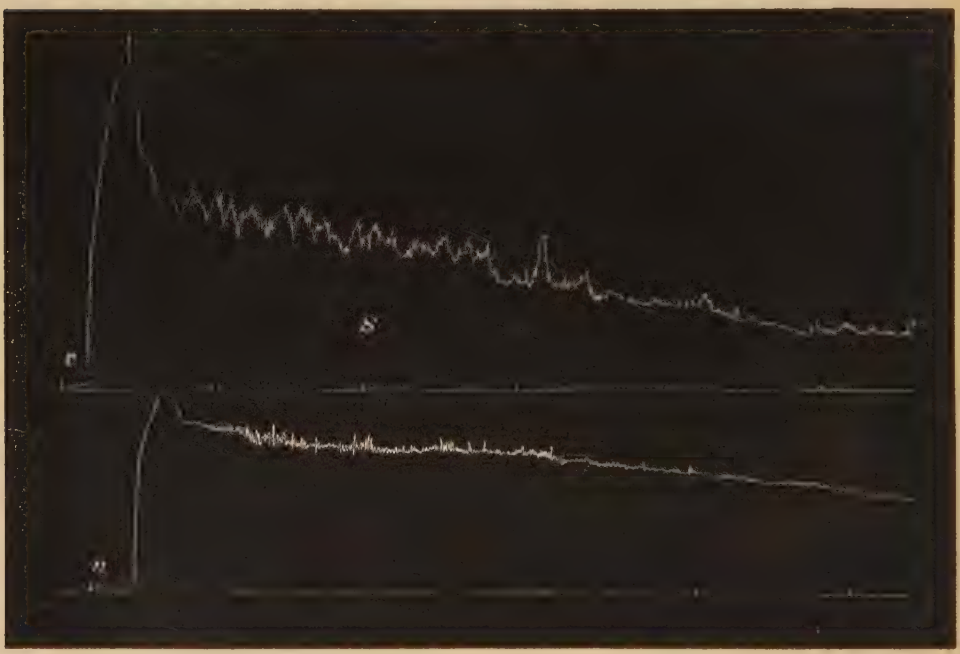

Fig. 14. Sartorien in $^1/_{10}$ Normal-Bromnatrium, nat. Grösse.

Schwächere Lösungen ($^1/_{10}$ mormale) rufen, wie schon oben erwähnt, vielfache Zuckungen hervor, die oft in Perioden geordnet, einander folgen, so dass die Curven fast den gewöhnlichen, mit Quecksilbermanometern gezeichneten Blutdruckcurven gleichen. Diese Regelmässigkeit, welche dann in den bekannten rhythmischen[1]) Zusammenziehungen ihren Ausdruck findet, habe ich übrigens wesentlich nur an curarisirten Muskeln beobachtet. Fig. 14 ist hierfür ein Beispiel von zwei Sartorien, die sich in $^1/_{10}$ Normal-Bromnatriumlösung

1) Vgl. Biedermann, Elektrophysiologie S. 168. Jena 1895.

befanden. Die stärkere Einwirkung auf die curarisirten Muskeln machte sich durchweg (auch an anderen Muskeln) bemerkbar.

Erwähnt sei schliesslich noch, dass $^1/_{10}$ Normal-Jodnatriumlösung in dem nicht curarisirten Muskel (Sartorius) einmal nach einer Einwirkung von etwa einer halben Minute eine bedeutende Erschlaffung und erst hinterher eine Zusammenziehung zur Folge hatte, während der curarisirte sich sofort stark zusammenzog. Da ich diese Erschlaffung, welche in ähnlicher Art auch Carlslaw nach

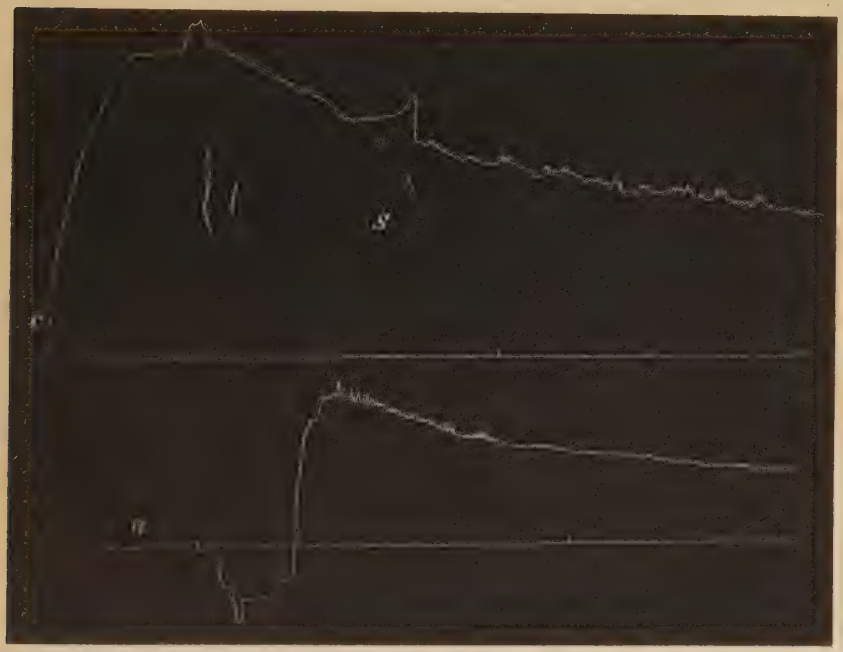

Fig. 15. Sartorien in $^1/_{10}$ Normal-Jodnatrium, nat. Grösse.

elektrischer Reizung des Hüftnerven an mit 1 %iger Kochsalzlösung durchspülten Muskeln beobachtete, für grundsätzlich sehr wichtig halte, so sei sie durch obige Curve *n* in Fig. 15 erläutert.

Zum Schluss dieser graphischen Versuche sei noch darauf hingewiesen, dass auch Kalisalzlösungen (Chlorkalium normal und $^1/_{10}$ normal) in ganz ähnlicher Weise wirken. Die starken rufen sofort eine bedeutende, lang anhaltende Contraction hervor, die schwachen eine häufig noch bedeutendere, welche aber schon nach 1—2 Minuten weit unter die Hälfte ihrer früheren Höhe herabsinkt. Erstere gleichen desshalb den Curven der Fig. 6a; letztere denjenigen

von Fig. 9a (*S. c*) nur mit dem Unterschiede, dass das Absinken viel langsamer erfolgt.

Fasse ich hiernach die Endergebnisse aller dieser Versuche zusammen, so habe ich nur das auf Seite 21 Gesagte zu wiederholen und noch auf die verschiedenen Typen der Curven hinzuweisen. Starke Reize erzeugen schnelle und lang andauernde Verkürzungen (siehe Fig. 1b, 4, 6a u. s. w.), schwächere veranlassen die Nasen (s. Fig. 7, 8a, 9a u. s. w.), denen entweder eine zweite lang anhaltende Zusammenziehung nachfolgt, sogenannte dikrotische Curven, oder nicht. Bei nicht curarisirten Muskeln, niemals aber bei curarisirten tritt unter dieser letzteren Bedingung häufig eine auffallende Verlängerung ein, so dass der Muskel bedeutend länger wird, als er vor der Reizung war.

Schwächere Lösungen rufen, namentlich an nicht curarisirten Muskeln, eher einzelne Zuckungen hervor als stärkere.

Was nun die Erklärung dieser Vorgänge anlangt, so ist, indem ich hier die Anschauungen von Herrn Prof. Grützner wiedergebe, die verschiedene Erregbarkeit curarisirter und nicht curarisirter Muskeln desselben Thieres, wohl in erster Linie eben auf dieses Gift, d. h. auf die Ausschaltung der Nerven zu beziehen. Man könnte ja den Einwand machen, dass die kurz dauernde Unterbindung der Iliaca die Erregbarkeit der (nicht curarisirten) Muskeln in oben geschilderter Weise beeinflusst, d. h. für chemische Reize herabgesetzt habe.

Und dieser Einwand ist nicht so ohne Weiteres von der Hand zu weisen. Man kann sich nämlich thatsächlich davon überzeugen, dass die einfache Unterbindung einer Iliaca bei ganz normalen Fröschen hin und wieder ähnliche Erfolge haben kann, wie die Unterbindung mit nachträglicher Curarisirung. Dies gilt namentlich für die Anwendung stärkerer Reizlösungen. Legt man z. B. die beiden Sartorien eines Frosches, dessen eine Iliaca vielleicht zehn Minuten unterbunden war, in starke Salzlösungen, so kann man häufig eine etwas stärkere Zusammenziehung des Sartorius der nicht unterbundenen Seite wahrnehmen. Allerdings ist der Unterschied nicht so bedeutend und vor allen Dingen nicht so regelmässig, wie bei einem einseitig curarisirten Frosch.

Der ungemein nahe liegende Versuch, die Muskeln curarisirter und nicht curarisirter Frösche auf ihre chemische Erregbarkeit mit einander zu vergleichen, wurde natürlich auch zu wiederholten Malen angestellt. Da aber einmal die Grösse der verschiedenen Muskeln,

sowie vor allen Dingen ihre Erregbarkeit stets mehr oder weniger verschieden sind, so eignen sich derartige Versuche zu feineren Messungen nicht und erfordern günstigen Falls ein ungemein grosses Versuchsmaterial. Im Uebrigen haben sie, namentlich für schwächere Lösungen, im Wesentlichen die gleichen Ergebnisse geliefert, wie die Versuche mit den curarisirten und nicht curarisirten Muskeln desselben Frosches.

Mögen also, was ich, wie gesagt, nicht ganz ausschliessen kann, die obigen graphischen Versuche mit starken Lösungen nicht ganz rein sein, d. h. mögen an der verschiedenen Reaction curarisirter und nicht curarisirter Muskeln ausser dem Curare auch noch andere Umstände, wie grösserer oder geringerer Blutgehalt und dergl. mitgewirkt haben, dem Curare, d. h. der Ausschaltung des nervösen Einflusses dürfte doch wohl wesentlich das verschiedene Verhalten der beiden Muskeln zugeschrieben werden.

Ist dies aber der Fall, dann müssen wir in den Muskelnerven zwei verschiedene, antagonistisch wirkende Nervenarten annehmen, nämlich solche, deren Reizung den Muskel zur Zusammenziehung bringt und andere, deren Reizung ihn von seiner normalen Länge aus erschlaffen lässt. Denn wie wäre es sonst zu verstehen, dass in Folge bestimmter chemischer Einwirkungen nur nervenhaltige, niemals nervenlose (curarisirte) Muskeln erschlaffen, wie Aehnliches auch von Carlslaw beschrieben und von uns zu wiederholten Malen gesehen worden ist? Diese auch schon von Wedensky[1]) gemachte Annahme wird um so wahrscheinlicher, als nach den interessanten Untersuchungen von H. E. Hering und Sherrington[2]) Erregung bestimmter Muskelgruppen ihre Antagonisten auf nervösem Wege erschlaffen lässt. Diese Erschlaffungsnerven werden also offenbar unter bestimmten Bedingungen von den chemischen Stoffen wesentlich oder allein erregt, so dass der Erfolg ihrer Reizung eine Erschlaffung des Muskels von seiner Ruhelänge aus ist. Bei curarisirten Muskeln scheint eine Erregung dieser Nerven ebensowenig möglich, wie eine solche der specifisch motorischen. Hier wird die Muskelsubstanz für sich ergriffen und reagirt in ihrer Art.

Ich wende mich schliesslich noch kurz zur Mittheilung meiner Versuche, bei denen die betreffenden Muskeln, curarisirte und nicht

1) Comptes rendus, T. 111, p. 984, 1890.
2) Pflüger's Archiv Bd. 68 S. 222. 1897.

curarisirte derselben oder verschiedener Frösche, einfach in die betreffenden Flüssigkeiten gelegt und in ihrem Verhalten unmittelbar beobachtet wurden.

Das Ergebniss dieser Versuche ist im Wesentlichen folgendes. Verwendet man starke Lösungen (etwa Normallösungen der oben genannten Salze), so ziehen sich die Muskeln sofort, mit oder ohne fibrilläre Zuckungen stark zusammen, die curarisirten in der Regel stärker als die nicht curarisirten. Handelt es sich um Sartorien, so krümmen sich erstere, wenn sie sich überhaupt krümmen, so gut wie immer um ihre hintere, tiefere Seite und bilden häufig eine nahezu geschlossene Röhre. Freilich macht sich auch hier wieder der verschiedene Blutgehalt oder andere uns unbekannte Erregbarkeitszustände der beiderlei Muskeln störend bemerkbar, so dass auch Ausnahmen von der Regel zur Beobachtung gelangen. Experimentirt man nur mit den Muskeln eines und desselben Frosches, so sind die Ergebnisse constant, aber, wie schon oben angedeutet, vielleicht nicht ganz eindeutig.

Kommen hingegen schwächere Lösungen zur Verwendung — am meisten empfiehlt sich hierzu eine $^1/_{10}$ Normal-Fluornatriumlösung —, so ist der Unterschied in dem Verhalten curarisirter und nicht curarisirter Muskeln ein sehr auffälliger und gilt der Hauptsache nach für die Muskeln desselben Thieres, wie verschiedener Thiere in gleicher Weise. Durchweg ziehen sich die curarisirten stärker zusammen als die nicht curarisirten. Handelt es sich um Sartorien, so drehen sich erstere um die innere Seite und zeigen mehr tetanische Contractionen. Die nicht curarisirten dagegen drehen sich oft spiralig, ziehen sich nicht so stark zusammen und erzittern fortwährend in schnellen, kurz dauernden Zuckungen, wie Aehnliches auch Carlslaw für 0,2 procentige Kochsalzlösung beschreibt. Es ist dies um so beachtenswerther, als Nervenstämme, welche in $^1/_{10}$ Normal-Fluornatriumlösungen oder in 0,2 procentige Kochsalzlösungen gelegt werden, die zugehörigen Muskeln gar nicht oder bei dem Fluornatrium erst nach langdauernder Einwirkung zu schwachen Zusammenziehungen veranlassen. Obwohl also diese Lösungen den motorischen Nerven (nach der gewöhnlichen Ausdrucksweise) nicht erregen, so beeinflussen sie doch durch Veränderung, offenbar durch Erhöhung der Erregbarkeit des Nerven, in hohem Maasse die Art der Muskelzusammenziehungen.

Woher rühren nun aber jene eigenthümlichen Drehungen und

Krümmungen der Muskeln, namentlich der Sartorien? Die Antwort ist leicht zu geben. Sie beruhen auf partiellen Zusammenziehungen einzelner Muskelfasern, im vorliegendem Falle der tiefer gelegenen hinteren Schichten. Ziehen sich diese stärker zusammen, so müssen sie den ganzen Muskel nach ihrer Seite hin concav krümmen.

Die nächstliegende Erklärung, dass wesentlich diese hintere Schicht von dem chemischen Reiz erfasst wird, wird man vielleicht in dem anatomischen Bau des Muskels begründet finden. Wie schon der blosse Augenschein lehrt, ist die vordere, unter der Haut liegende Muskelschicht des Sartorius mit einer viel dickeren, bindegewebigen Haut bekleidet als die hintere Lage der Muskelfasern, die so zu sagen nackt sind. Desshalb können diese eher von dem chemischen Reizmittel gepackt werden als jene durch eine dicke Fascie geschützten.

Diese Erklärung ist aber sicher nicht richtig, zum Mindesten nicht ausreichend. Denn wie oben mitgetheilt und auch anderweitig bekannt, kann man nicht selten gerade im Anfang der chemischen Reizung eine stärkere Zusammenziehung der äusseren Fasern, also eine Krümmung um die äussere Seite des Sartorius beobachten, die erst später in die entgegengesetzte Drehung umschlägt oder auch dauernd bestehen bleibt. Es liegen hier also offenbar verschiedene Erregbarkeitsverhältnisse der vorderen und hinteren Muskelschichten vor, was uns um so weniger verwundern darf, als nach den Untersuchungen von Grützner die vordere Lage des Sartorius (bei Wasser- und Grasfröschen) von den dünnen, protoplasmareichen[1]), grauen Fasern gebildet wird, während die hintere, den Oberschenkelmuskeln aufliegende Schicht aus dicken hellen Fasern besteht. Umstehende, mir von Herrn Prof. Grützner zur Verfügung gestellte Zeichnung (s. Fig. 16; S. 38), erläutert die Verhältnisse.

Nun kann man aber, wie mir Herr Prof. Grützner mittheilt, den Sartorius, der sich, in Folge der verschiedensten (stärkeren), chemischen Reize, neun Mal unter zehn Mal nach der inneren Seite zu umdreht, dazu veranlassen, sich auch häufiger um die vordere, äussere Seite zu krümmen, also wesentlich die dünnen Fasern zur Zusammenziehung zu bringen. Dies gelingt nämlich ziemlich regelmässig, wenn man ihn abkühlt.

Hermann[2]) macht gelegentlich anderer Versuche folgende

1) S. die eingehenden Arbeiten von Knoll, wie Denkschr. der Wiener Akad. Bd. 58, S. 633, 1891 u. a.

2) Pflüger's Archiv Bd. 4 S. 189. 1871.

Bemerkung. „An dünnen Muskeln, welche man einzeln hat gefrieren lassen, z. B. Sartorien, bemerkt man meist, dass sie sich bei der Erstarrungsverkürzung anfangs sehr stark auf die Fläche krümmen und zwar mit der Concavität nach der anatomischen Vorderfläche, mit welcher Fläche sie auch der kalten Glasplatte aufgelegen haben mögen."

Man braucht nun aber die Muskeln gar nicht gefrieren zu lassen, sondern nur, wenn sie stark abgekühlt sind, reizen. Das kann man schon hin und wieder beobachten, wenn man Sartorien in die Biedermann'sche Zuckungsflüssigkeit legt und ihre Zuckungen bei mittlerer oder niederer Temperatur beobachtet. In letzterem Falle scheinen sich die vorderen Fasern stärker zusammenzuziehen als die hinteren.

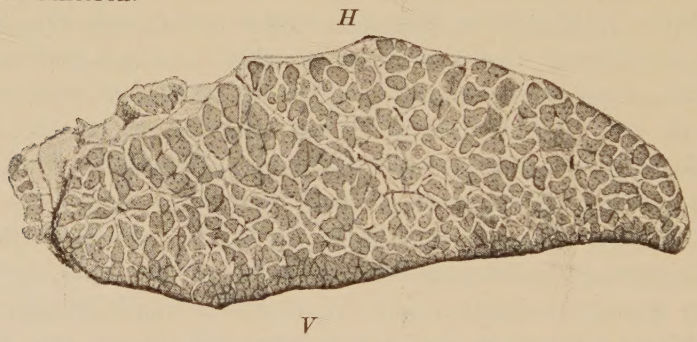

Fig. 16. Sartorius eines Grasfrosches, quer durchschnitten. Die vordere Seite (*V*) zeigt die dicke Fascie und die unter ihr liegenden dünnen Fasern, die hintere (*H*) die dicken. Vergr. etwa 20 fach.

Wird aber ein Sartorius in ein kleines viereckiges Kästchen gelegt, welches mit physiologischer Kochsalzlösung angefüllt ist und der Länge nach von den Strömen eines gewöhnlichen Inductionsapparates durchsetzt, so dreht er sich in der Regel um die hintere Seite; bringt man ihn aber in abgekühlte Kochsalzlösung, so kehrt sich die Wirkung um und er dreht sich in der Regel um die vordere Seite, so wie Aehnliches auch Hermann an seinen abgekühlten Sartorien beobachtet hat. Aller Wahrscheinlichkeit sind die dünnen, (langsamen) Fasern in der Kälte erregbarer als die dicken, (schnellen), und die verschiedenen Reizerfolge, welche man an verschieden temperirten Muskeln beschrieben hat, sind höchst wahrscheinlich der Hauptsache nach auf diese durch die Temperatur veränderte Erregbarkeit jener beiden verschiedenen Fasergattungen, die sich in jedem Muskel finden, zurückzuführen.

Auch kurz (etwa 10 Minuten) dauernde Unterbindung der Iliaca erhöht die Erregbarkeit der dünnen Fasern, so dass derartig des Blutzuflusses beraubte Sartorien sich häufiger um die vordere als die hintere Seite drehen. Die Versuche sind vorläufig leider noch nicht so constant, als man dies wünschen möchte. Wenn man aber andererseits bedenkt, dass jede kleine Verletzung oder Zerrung einiger Muskelfasern, sowie namentlich bei stärker wirkenden Lösungen das verschieden schnelle und verschiedenartige Eindringen dieser Flüssigkeiten die Reizerfolge beeinflussen, ja umkehren kann, so wird man sich eben vorläufig mit diesen Erfolgen zufrieden geben müssen.

Wenn man dann weiter entweder die dünnen oder die dicken Fasern allein dem Einfluss chemischer Reizmittel aussetzt, indem man entweder die hintere oder die vordere Seite eines Sartorius mit dünnem Vaselin bestreicht und derartig behandelte Muskeln in die Flüssigkeiten versenkt, so drehen sich dieselben, was begreiflich ist, zunächst regelmässig um die nicht bestrichene Fläche und verharren oft lange Zeit in dieser Haltung. Erst wenn das Vaselin rissig wird und abspringt, ändern sie die Art ihrer Zusammenziehungen. Hierbei zeigt sich, dass die Drehung um die hintere, innere Seite gewöhnlich eine stärkere ist, als um die äussere.

Um die dünnen oder die dicken Fasern möglichst getrennt zu reizen, wurden curarisirte Sartorien auch auf ihrer vorderen, beziehungsweise hinteren Seite einmal mit einem in starke Sublimatlösung getauchten Pinsel überstrichen, dadurch getödtet und dann schnell in physiologischer Kochsalzlösung abgespült und in die reizenden Flüssigkeiten geworfen. Die Ergebnisse waren im Wesentlichen die gleichen. Die vorderen, dünneren Fasern rollten den Muskel nicht oder kaum zusammen, die hinteren krümmten ihn dagegen um ihre Seite.

Sehr hübsch aber werden derartige Versuche, wie mir Herr Prof. Grützner mittheilt, wenn man curarisirte Sartorien auf ihrer vorderen, beziehungsweise hinteren Seite mit feinem Olivenöl bebestreicht und dann in die reizenden Flüssigkeiten, z. B. in eine sehr schwache Chloroformmischung (so weit sich dasselbe in physiologischer Kochsalzlösung auflöst), hineinwirft. Die Muskeln drehen sich um die nicht bestrichenen Flächen, aber in ganz verschiedener Art und Geschwindigkeit.

Verhältnissmässig schnell ziehen sich die vorderen, dünnen

Fasern zusammen, krümmen den Muskel gewöhnlich ein wenig nach ihrer Seite oder klappen ihn wie ein Taschenmesser zusammen, aber, was höchst merkwürdig ist, erschlaffen nach ganz kurzer Zeit, etwa nach einer halben Minute, so dass der Muskel dann wieder schlaff daliegt, wie in einer ganz harmlosen Flüssigkeit. Nach längerer Zeit kann er sich dann wieder zusammenziehen, und zwar gewöhnlich um die inneren Fasern, zu denen natürlich die Flüssigkeit allmälig eindringt.

In der Regel viel langsamer ziehen sich dagegen die hinteren, dicken Fasern zusammen, dafür aber um so stärker, so dass dieser zweite Muskel nahezu eine geschlossene Röhre bildet, während der andere, wie gesagt, flach gekrümmt ist.

Wenn man diese Versuche sieht, so kommt man unweigerlich zu der Anschauung, dass die oben beschriebenen Nasen auf die kurzdauernde Zusammenziehung der dünnen Fasern, und dass die nachträgliche, lang dauernde, spätere Erhebung auf diejenigen der dicken Fasern zu beziehen ist. Man wird in dieser Meinung bestärkt, wenn man die oben erwähnten Versuchsergebnisse, sowie die Nasen nur bei schwächeren Lösungen beobachtet. Stärkere wirken gleich zu gewaltig und zu ausgebreitet.

Dass die Bicipites sehr selten die Nasen zeigen, geht auch aus ihrem Bau hervor; denn dünne und dicke Fasern sind in diesem (übrigens ziemlich complicirt gebauten) Muskel bunt durcheinander gemischt, isolirte Actionen einzelner dünner oder dicker Fasern also viel schwieriger auslösbar.

Pierer'sche Hofbuchdruckerei Stephan Geibel & Co. in Altenburg.